

сидных слоев для обеих модельных реакций. Проведен сравнительный анализ экспериментальных катализаторов с мировыми аналогами.

**Ключевые слова:** церий, каталитическая активность, окисдование, морфология, производительность, титан, бензол, степень конверсии, элиминирование, экотехнология.

In article the modern technologies of formation the catalytic systems, which contain cerium, are presented. In conditions of behavior the flameless oxidation of benzol and the oxidation CO to CO<sub>2</sub> reactions, tests of the samples were provided. The catalytic activity of the oxide layers, which contain cerium, for both model reactions is fixed. A comparative analysis of the experimental catalysts with the world analogs is accomplished.

**Keywords:** cerium, catalytic reactivity, oxidation, morphology, capability, titanium, benzol, conversion level, elimination, environmentally friendly technology.

УДК 66.02

**В.И. ТОШИНСКИЙ**, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
**А.Н. ДУБОВЕЦ**, канд. техн. наук, доц., УИПА, Харьков,  
**И.И. ЛИТВИНЕНКО**, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
**М.А. ПОДУСТОВ**, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
**Т.П. КАЧОМАНОВА**, студент, НТУ "ХПИ"

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ КАК МЕТОД ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

В статье рассмотрены вопросы математического моделирования выходных сигналов контрольно-измерительных приборов для их совершенствования. Предложенный метод является универсальным, имеет множество положительных особенностей. Применение данного метода позволяет эффективно развивать творческое воображение студентов благодаря легкости усваиваемости и использования только алгебраических преобразований исходных формул различных методов измерения.

**Ключевые слова:** моделирование, пьезометрический, поплавковый, радиоизотопный, уровнемер, метод, плотность, чувствительность.

Известно, что рабочим органом любой системы автоматического контроля, сигнализации и регулирования является чувствительный элемент, в основе которого лежит конкретный закон. Указанный закон выражает в математической форме измеряемую (регулируемую) величину через совокуп-

© **В.И. Тошинский**, А.Н. Дубовец, И.И. Литвиненко, М.А. Подустов, Т.П. Качоманова, 2013

ность других величин, которые или постоянны или подлежат измерению. При этом данный закон однозначно определяет (задает) вид чувствительного элемента, его конструктивные особенности.

Например, при измерении уровня пьезометрическим уровнемером чувствительный элемент «реализует» формулу

$$P = H\rho g \quad (1)$$

где  $P$  – давление на глубине погружения измерительной (пьезометрической) трубки в контролируемую жидкость;  $\rho$  – плотность жидкой среды;  $g$  – ускорение свободного падения.

Из (1) следует, что  $H = P/\rho g$  и что на результат измерения  $H$  влияет сопутствующая величина –  $\rho$  и дополнительная (методическая) погрешность при измерении  $H$  не возникает только в том случае, если  $\rho = const$ . Таким образом, формула (1) является математической моделью выходного сигнала чувствительного элемента, которая одновременно указывает на зависимость указанного сигнала (и результата измерения уровня) от плотности контролируемой жидкой среды, что при изменении  $\rho$  может приводить к недопустимым дополнительным (методическим) погрешностям измерения.

Но тогда можно предположить, что имеется возможность преобразования исходной математической модели (формула 1) до получения такого ее вида, когда плотность контролируемой среды  $\rho$  не оказывает влияния на результат измерения уровня  $H$ . Данный метод привлекателен тем, что исходную формулу средства измерения можно преобразовывать на основе выдвинутой идеи и правил математики до тех пор, пока она не будет соответствовать целевому назначению. Такой подход позволяет не разрабатывать чувствительный элемент средства измерения до тех пор, пока не создана математическая модель его выходного сигнала, отвечающего целевым требованиям.

Например, необходимо разработать чувствительный элемент поплавкового регулятора уровня жидких сред, результаты регулирования которого не будут зависеть от их плотности (в том числе непрерывно изменяющейся) при любых ее значениях. Выходной сигнал чувствительного элемента поплавкового регулятора уровня (с плавающим поплавком) описывается формулой

$$H_{\pi} = P_{\pi}/S_{\pi}\rho g \quad (2)$$

где  $H_{\Pi}$  – глубина погружения плавающей поплавка в жидкую среду;  $P_{\Pi}$  – выталкивающая сила, действующая на поплавок;  $S_{\Pi}$  – площадь поперечного сечения цилиндрического поплавка.

Одна из идей исключения зависимости выходного сигнала поплавка от плотности контролируемой среды «предлагает» исключение  $\rho$  из формулы (2), что можно обеспечить посредством его выражения в указанной формуле через другие величины. Тогда будем иметь

$$\rho = p_n / h_n s_n g \quad (3)$$

где  $p_n$  – выталкивающая сила, действующая на поплавок;  $h_n$  – глубина погружения поплавка в жидкую среду;  $s_n$  – площадь поперечного сечения поплавка.

Подставляя (3) в (2), получим:

$$H_{\Pi} = P_{\Pi} h_n s_n / S_{\Pi} p_n \quad (4)$$

Из (4) следует, что чувствительный элемент, в математической модели которого отсутствует  $\rho$  должен состоять из двух поплавков. Предполагая, что  $P_{\Pi} = p_n$  (это один из вариантов предлагаемых идей), получим  $H_{\Pi} / S_{\Pi} = h_n s_n$ , что возможно, если, например,

$$H_{\Pi} < h_n, S_{\Pi} > s_n \quad (5)$$

Условие (5) осуществимо, если плавающие поплавки при выбранных  $S_{\Pi}$  и  $s_n$  погружены в жидкую среду на разные глубины  $H_{\Pi}$  и  $h_n$ , при которых  $P_{\Pi} = p_n$ .

Простейшая реализация конструкции чувствительного элемента регулятора приведена на рис. 1.

Очевидно, что если при  $H_{зд}$ :

$$(P_{\Pi} = H_{\Pi} S_{\Pi} \rho g) = (p_n = h_n s_n \rho g), \quad (6)$$

то выходной сигнал преобразователя 5 равен 0 ( $E = 0$ ).

Если в объекте изменится плотность жидкой среды, то уравнение (6)

будет иметь вид

$$[P_{\pi} = H_{\pi} S_{\pi} (\rho \pm \Delta\rho)g] = [p_n = h_n s_n (\rho \pm \Delta\rho)g] \quad (7)$$

Из (7) следует, что при любой плотности и любом ее изменении выходной сигнал чувствительного элемента регулятора (ЧЭР) остается постоянным, т.е. значение выходного сигнала ЧЭР не зависит от плотности контролируемой жидкой среды, а формула (6) имеет по существу вид  $H_{\pi} S_{\pi} = h_n s_n$  (при  $P_{\pi} = p_n$ ).

Если  $H_{зд}$  возрастет на  $\Delta H$ , то  $(H_{\pi} + \Delta H)S_{\pi} > (h_n + \Delta H)s_n$ , т.к.  $S_{\pi} > s_n$  и рычаг 3 повернется на оси 4 по часовой стрелке, что приведет к возникновению в измерительном преобразователе 5 выходного сигнала на уменьшение регулятором расхода жидкости, поступающей в объект или отключение подачи жидкости в объект.

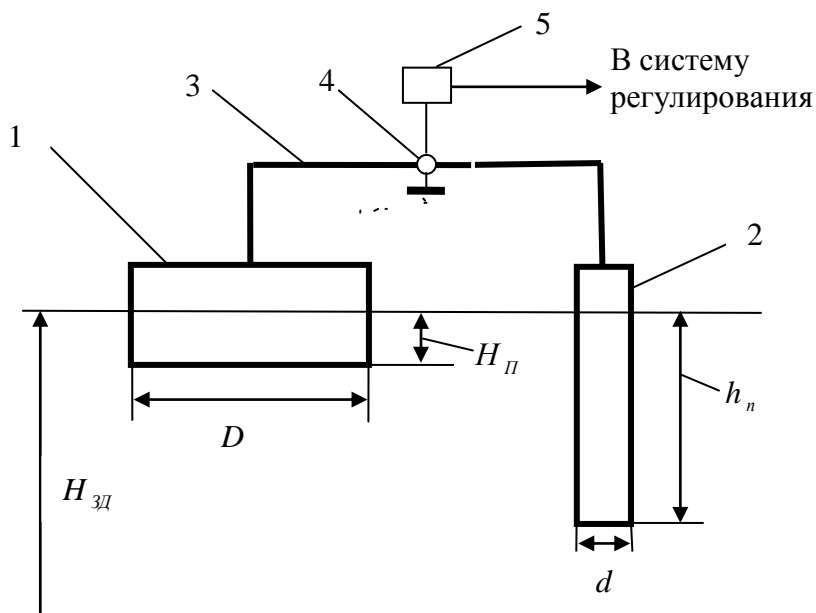


Рис. 1 – Конструкция чувствительного элемента регулятора:  $H_{зд}$  – заданный регулятору уровень жидкости в технологическом объекте; 1 – цилиндрический поплавок с большей площадью поперечного сечения; 2 – цилиндрический поплавок с меньшей площадью поперечного сечения; 3 – П-образный равноплечный рычаг; 4 – ось, на которой установлен рычаг; 5 – преобразователь угла поворота рычага в унифицированный выходной сигнал чувствительного элемента.

Если  $H_{зд}$  уменьшится на  $\Delta H$ , то  $(H_{\pi} - \Delta H)S_{\pi} < (h_n - \Delta H)s_n$ , т.к.  $S_{\pi} > s_n$ , то рычаг 3 повернется на оси 4 против часовой стрелки, что приведет к возник-

новении в измерительном преобразователе 5 выходного сигнала на увеличение регулятором расхода жидкости, поступающей в технологический объект.

Следовательно, спроектированный на основе математического моделирования чувствительный элемент регулятора, состоящий из двух поплавков, обеспечивает независимость результатов регулирования от плотности жидкой среды.

Но это возможно, во-первых, при наличии двух поплавков «включенных» встречно и, во-вторых, при обязательном условии  $H_1 S_1 = H_2 S_2$  при  $S_1 > S_2$ ,  $H_1 < H_2$  и  $P_1 = P_2$ .

Справедливость эффективности метода преобразования формул (математических моделей), выходного сигнала чувствительных элементов регуляторов уровня подтверждается возможностью получения вышеуказанного результата использованием другой «идеологии» преобразования исходных математической модели.

Так как при наличии двух поплавков, на которые действуют соответственно выталкивающие силы  $P_1 = H_1 S_1 \rho g$  и  $P_2 = H_2 S_2 \rho g$ , то при  $S_1 > S_2$  и  $H_1 < H_2$  и  $P_1 = P_2$  отношение  $P_1 / P_2 = 1$ . Но тогда регулятор уровня должен содержать кроме двух поплавков два измерительных преобразователя, измеряющих значения  $P_1$  и  $P_2$ , блок для измерения соотношения  $P_1 / P_2$  с унифицированным выходом на регулирование (рис. 2).

Чувствительный элемент регулятора реагирует на изменение уровня жидкой среды относительно заданного уровня  $H_{зд}$  подобно конструкции, представленной на рис. 1, его отличие в том, что направленность реакции регулятора (увеличение или уменьшение) расхода в данном случае зависит от условий  $P_1 / P_2 > 1$  или  $P_1 / P_2 < 1$ .

На основе анализа приведенных выше чувствительных элементов регуляторов уровня жидких сред, полученных посредством целевого математического моделирования, можно утверждать, что данный метод является эффективным средством, позволяющим еще до разработки конструктивного решения конкретного регулятора получить в виде математической модели конструкцию его чувствительного элемента с заданными функциональными признаками.

Естественно, возникает вопрос о возможности получения математической модели чувствительного элемента, прибора для измерения уровня жид-

ких сред, конструкция которого исключает зависимость от плотности указанных сред.

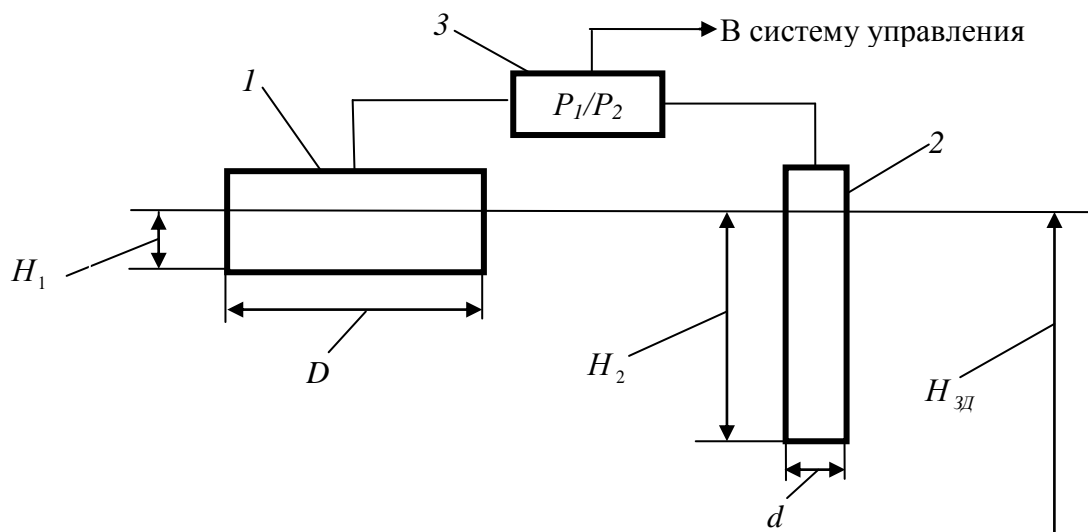


Рис. 2 – Регулятор уровня: 1 – поплавок с меньшей высотой и большей плотностью поперечного сечения  $S_1 = \kappa D_1^2$ ; 2 – поплавок с большей высотой и меньшей площадью поперечного сечения  $S_2 = \kappa d_2^2$ ; 3 – блок соотношения  $P_1/P_2$  с унифицированным выходным сигналом.

Очевидно, что в данном случае чувствительный элемент уровнемера (ЧЭУ) должен содержать два поплавка, совокупный выходной сигнал которых представленный формулой – математической моделью, во-первых, не должен зависеть от плотности контролируемой среды и, во-вторых, быть пропорциональным текущему значению ее уровня в технологическом объекте.

Если ЧЭУ содержит два плавающих поплавка, то справедливо, что

$$P_1 = H_1 S_1 \rho g ; P_2 = H_2 S_2 \rho g \text{ и } P_1 / P_2 = H_1 S_1 / H_2 S_2 \quad (8)$$

Для получения целевого результата возможны (как следует из 8) следующие варианты:

$$1) H_1 = H_2, S_1 = S_2; \quad 2) H_1 \neq H_2, S_1 = S_2; \quad 3) H_1 \neq H_2; S_1 \neq S_2. \quad (9)$$

Очевидно, что первый вариант неприемлем, т.к. приводит к 1 при любых конструктивных параметрах поплавков.

Второй вариант при  $H_1 > H_2$  т.к.  $H_2 = H_1 - \Delta H$  приводит к уравнению:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{H_1}{H_2} = \frac{H_1}{H_1 - \Delta H} \sqrt{a^2 + b^2} \quad (10)$$

В соответствии с (9) поплавки могут быть установлены в объекте только так, чтобы их верхние концы находились на одном уровне, в противном случае при уровне жидкой среды  $H_c$  в объекте в пределах  $(H_1 - \Delta H)$  показания уровнемера будут равны 1.

Очевидно, что максимальное значение  $H_c = H_1$ , т.е. при заполнении объекта жидкой средой,  $H_c$  изменяется в пределах  $(0 - H_1)$ , поэтому чем больше  $H_1$  тем меньше при  $\Delta H = \text{const}$  отношение  $H_1 / (H_1 - \Delta H)$ , что обеспечивает, во-первых, независимость результатов измерения уровня жидкой среды от ее плотности и, во-вторых, соответствие каждому конкретному уровню  $H_c$  конкретное значение отношения  $H_1 / (H_1 - \Delta H)$ .

ЧЭУ в данном случае (рис. 3) должен состоять из двух поплавков 1 и 2 одинакового диаметра, один из которых на  $\Delta H$  меньше другого, двух измерительных преобразователей 3, 4, измеряющих выталкивающие силы ( $P_1$  и  $P_2$ ) действующие на поплавки и блока деления ( $P_1 / P_2$ ) 5, выходной сигнал которого пропорционален уровню контролируемой жидкой среды в объекте.. Унифицированный выход блока деления может передаваться по линии связи 6 на вход вторичного прибора 7 со шкалой, проградуированной в единицах измерения уровня.

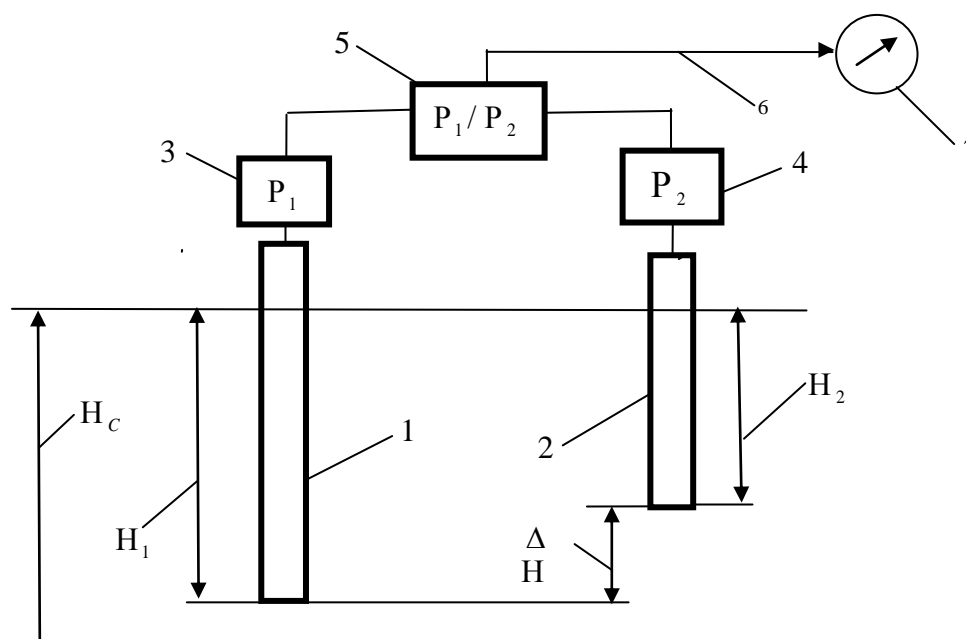


Рис. 3 – Уровнемер

Очевидно, что следует из рис. 3, разработанный уровнемер имеет существенный недостаток – наличие «мертвой зоны» -  $\Delta H$ , в границах которой измерение уровня не осуществляется и которую невозможно осуществить при одинаковых диаметрах поплавков 1 и 2.

Но если высоты поплавков равны ( $H_1 = H_2$ ), то измерение уровня жидкой среды при  $S_1 = S_2$  вообще невозможно. Следовательно, в процессе математического преобразования выражения (8) необходимо найти такой ее вид, который обеспечивал бы функциональную зависимость  $P_1 / P_2 = f(H_c)$  во всем диапазоне изменения  $H_c$ .

Для получения указанной зависимости должно выполняться два условия  $H_1 = H_2$  и  $P_1 / P_2 = f(H_c)$  в пределах  $H_c = H_{1,2}$ . Это возможно, если при любом конкретном  $H_c$  его значению будет соответствовать конкретное (и единственное) значение отношения  $P_1 / P_2$ . Данную зависимость можно записать

в виде  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{S_1 = const}{S_2 = S_1 + \Delta S}$  при условии, что

$$\Delta S = f(H_c) \quad (11)$$

Условия (11) реализуемо если, например, при равной высоте поплавков 1, один из них выполнен в виде цилиндра, а второй - в виде усеченного конуса (рис. 4).

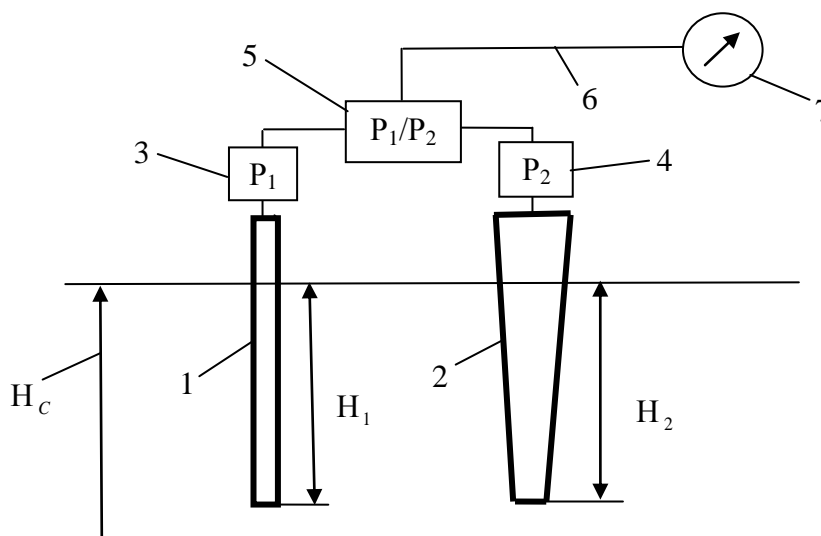


Рис. 4 – Поплавковый чувствительный элемент 1



Очевидно, что при указанном выборе поплавков любому конкретному значению  $H_c$  будет соответствовать конкретное и единственное значение отношения выталкивающих сил, действующих на поплавки –  $P_1/P_2$ . При этом очевидно, что чувствительность конструкции уровнемера (рис. 4) будет зависеть от угла конусности поплавок, выполненного в виде усеченного конуса и для увеличения чувствительности указанный угол следует увеличить, что приведет к увеличению габаритов данного поплавка. В связи с этим возникает вопрос, как обеспечить достаточную чувствительность уровнемера при ограниченных габаритах поплавков.

Анализируя формулу (11) можно сделать вывод, что увеличение чувствительности уровнемера возможно только в том случае, когда приращение  $\Delta S$  ее числителя и знаменателя будут иметь при изменении уровня противоположные знаки. Это возможно только в одном случае, когда выполняется условие

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{S_1 - \Delta S}{S_2 + \Delta S} \text{ при } \Delta S = f(H_c) \quad (12)$$

Простейшим вариантом реализации условия (12) является выполнение равных по высоте поплавков в виде усеченных конусов большие (меньшие) основания которых направлены в противоположные стороны.

Конструкция чувствительного элемента поплавкового уровнемера, реализующая условие (12) представлена на рис. 5

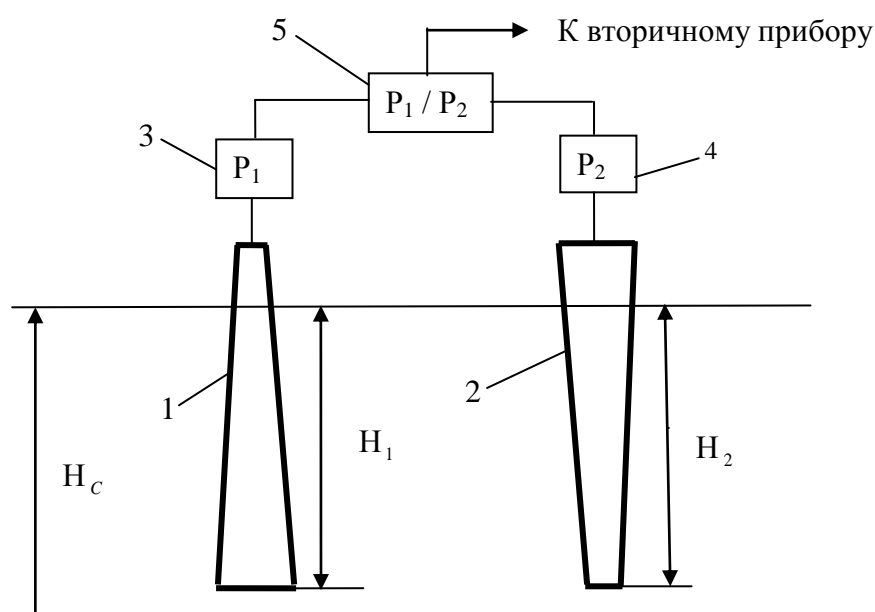


Рис. 5 – Поплавковый чувствительный элемент 2

Поплавки 1 и 2 имеют равные высоты, вследствие чего погружены в жидкую среду на одинаковую глубину  $H_1 = H_2$  при любом уровне жидкой среды  $H_c$  в технологическом объекте. При минимальном уровне  $H_c$  в объекте отношение выталкивающих сил  $P_1 / P_2$  имеет максимальное значение, при максимальном уровне жидкой среды указанное отношение равно 1. При этом очевидно, что на результаты измерения не оказывает влияние плотность контролируемой жидкой среды – ее изменение в любых пределах.

### **Выводы.**

1. Целевое преобразование исходных формул-моделей выходных сигналов чувствительных элементов существующих поплавковых уровнемеров и регуляторов позволяет определить формулу математической модели, обеспечивающей устранение их методических погрешностей.

2. Процесс моделирования выходного сигнала чувствительных элементов уровнемеров и регуляторов уровня должен предвосхищать их конструктивную реализацию до получения математической модели, в соответствии с которой разрабатываемый уровнемер (регулятор) может реализовать заданные функции.

3. Целевое моделирование выходных сигналов чувствительных элементов поплавковых уровнемеров позволяет расширить их функциональные возможности – обеспечить, например, одновременное измерение уровня и плотности контролируемой жидкой среды при исключении зависимости результатов измерения от значений и переменности каждой из измеряемых величин.

4. Данный метод является универсальным, что подтверждается результатами модернизации мембранных, емкостных, радиоизотопных уровнемеров, разработкой уровнемеров-дозаторов, выходные сигналы чувствительных элементов которых были определены посредством математического моделирования - организации поиска модели с заданными функциональными признаками.

5. Использование данного метода при проектировании чувствительных элементов бесконтактных средств измерения (например, радиоизотопных) позволяет исключить зависимость результатов измерения от изменения во времени толщины стенок трубопровода, в котором движется контролируемая среда.

6. Предлагаемый метод позволяет обеспечить заданные функции

средств измерения и регулирования жидких сред только за счет выбора на основе математического моделирования рациональных форм чувствительных элементов и определить при этом их оптимальное взаиморасположение относительно друг друга.

7. Применение метода математического моделирования выходных сигналов чувствительных элементов средств измерения и регулирования позволяет эффективно развивать творческое воображение студентов, так как он, во-первых, легко усваивается студентами и, во-вторых, в процессе моделирования используются только алгебраические преобразования исходных формул различных методов измерения.

**Список литературы:** 1. Пат. 18869 Україна, МПК G01F 23/14. Регулятор рівня рідких середовищ / Тошинський В.І., Дубовець О.М., Литвиненко І.І.; власник НТУ "ХПІ". – № 06574/06; заявл. 13.06.06; опубл. 15.11.06, Бюл. № 11. 2. Пат. 32282 Україна, МПК G01B 15/00. Радіоізотопний густиномір / Тошинський В.І., Дубовець О.М., Литвиненко І.І.; власник НТУ "ХПІ". – № 00040/08; заявл. 02.01.08; опубл. 12.05.08, Бюл. № 9. 3. Пат. 44486 Україна, МПК G01N 11/00, G01N 11/16. Ротаційний віскозиметр / Тошинський В.І., Дубовець О.М., Литвиненко І.І.; власник НТУ "ХПІ". – № 02872/09; заявл. 27.03.09; опубл. 12.10.09, Бюл. № 19. 4. Пат. 52280 Україна, МПК G01F 23/14. Регулятор рівня та густиномір / Тошинський В.І., Дубовець О.М., Литвиненко І.І.; власник НТУ "ХПІ". – № 00418/10; заявл. 18.01.10; опубл. 25.08.10, Бюл. № 16. 5. Пат. 50697 Україна, МПК G01F 23/00. Регулятор рівня рідких середовищ / Тошинський В.І., Дубовець О.М., Литвиненко І.І.; власник НТУ "ХПІ". – № 11952/09; заявл. 23.11.09; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12.

*Поступила в редколлегию 10.06.13*

УДК 66.02

**Математическое моделирование выходных сигналов чувствительных элементов средств контроля и регулирования как метод их совершенствования / В.И. ТОШИНСКИЙ, А.Н. ДУБОВЕЦ, И.И. ЛИТВИНЕНКО, М.А. ПОДУСТОВ, Т.П. КАЧОМАНОВА** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 47 (1020). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 135 – 146. Бібліогр.: 5 назв.

У статті розглянуті питання математичного моделювання вихідних сигналів контрольно-вимірювальних приладів для їх вдосконалення. Запропонований метод є універсальним, має безліч позитивних особливостей. Застосування даного методу дозволяє ефективно розвивати творчу уяву студентів завдяки легкості засвоюваності і використання тільки алгебраїчних перетворень вихідних формул різних методів вимірювання.

**Ключові слова:** моделювання, п'єзометричний, поплавковий, радіоізотопний, рівнемір, метод, щільність, чутливість.

The paper deals with mathematical modeling of the output signals of instrumentation for their improvement. The proposed method is versatile and has many positive features. Application of this method

allows to efficiently develop the creative imagination of the students because of the ease digestion and using only algebraic manipulations initial formulas of different methods of measurement.

**Keywords:** modeling, piezometric, the float. radioisotope, the transmitter, the method, the density sensitivity.

УДК 541.18

**Л.В. ТРИКОЗ**, канд. техн. наук, доц., УкрГАЖТ, Харьков

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГЛИНОСОДЕРЖАЩИХ ГРУНТОВЫХ СИСТЕМ**

В статье приведены результаты измерений электрокинетического  $\zeta$ -потенциала частиц в дисперсных системах, к которым относятся грунты. Показано, что значение  $\zeta$ -потенциала различных глинистых образцов и расчетные величины очень хорошо коррелируют между собой, что подтверждает корректность и правильность представлений о величинах и методике расчета электроповерхностных потенциалов. Предложено описание физико-химических процессов, происходящих при фильтрации воды по склонам, откосам насыпей или выемок, приводящих к появлению растягивающих напряжений и разрушению, таким образом, грунтовых массивов.

**Ключевые слова:** электрокинетический потенциал, электроповерхностный потенциал, потенциал течения.

**Введение.** Электроповерхностные свойства глиносодержащих материалов обусловлены наличием двойного электрического слоя ионов и скачка потенциала на границе раздела фаз. Обычно грунтовые массивы являются дисперсными системами из глинистых и песчаных частиц, имеющих отрицательный поверхностный заряд. Потенциалопределяющие ионы этих частиц –  $\text{OH}^-$  и ионы металлов вместе с катионами ближних к ним слоев воды образуют двойной электрический слой. Во время воздействия на грунты различных сред проявляются практически все электроповерхностные явления, которые определяют почти все процессы разрушения грунтовых массивов или, наоборот, их устойчивость против разрушающих воздействий. Электрокинетические явления развиты тем сильнее, чем больше подвижный заряд диффузного слоя и электрокинетический  $\zeta$ -потенциал границы скольжения. Отсюда ясно, что  $\zeta$ -потенциал – мера интенсивности электрокинетических явлений.

© Л.В.Трикоз, 2013